咸水滴灌对肉苁蓉寄生体系盐离子分配及品质的影响

刘　玲[1,2]，　罗剑洪[3]，　李丙文[1]，　徐新文[1]，　范敬龙[1]，　马志国[4]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆　乌鲁木齐　830011；2. 中国科学院大学，北京　101408；3. 新疆生产建设兵团第二师34团农业技术发展中心，新疆　尉犁　841506；4. 暨南大学药学院，广东　广州　510632）

摘　要：为探究咸水滴灌对人工种植肉苁蓉寄生体系盐离子分配和肉苁蓉品质的影响，在塔里木盆地塔克拉玛干沙漠边缘，选择4个灌水矿化度差异较大的样地，采集土壤、梭梭和肉苁蓉样品，分析土壤、寄生体系各部分盐离子含量及肉苁蓉主要药用成分含量，结果表明：(1) 在高矿化度咸水滴灌下，接种肉苁蓉的梭梭根部、主茎和同化枝盐离子含量为：同化枝>根>茎，肉苁蓉体内盐离子含量与寄主根系含量相近；(2) 肉苁蓉体内总盐、Na^+和Cl^-含量均随灌水矿化度的增高而增加；肉苁蓉体内K^+占总盐分的1/3，具有较强的吸收富集K^+的能力，但K^+含量并未随灌水盐浓度的变化而表现出显著性差异；(3) 肉苁蓉体内主要药用成分苯乙醇苷类物质含量随灌溉水矿化度的升高而增加，盐分胁迫有助于刺激肉苁蓉体内主要药用成分的积累。因此，较高矿化度咸水滴灌可以提高肉苁蓉的品质，但需要注意长期高盐胁迫对寄主梭梭的影响，因而制定合理的灌溉制度是不可或缺的。

关键词：咸水滴灌；肉苁蓉；盐分离子；药用品质

肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Ma)为列当科(Orobanchaceae)多年生根寄生草本植物，主要分布于我国西北干旱区，是传统名贵中药材[1]。伴随着肉苁蓉市场需求量的不断上升，野生资源濒临枯竭[2]，人工种植肉苁蓉已经成为市场的主要来源。当前，干旱区生态用水与农业用水矛盾十分突出[3]，开发利用地下咸水资源发展肉苁蓉产业日益普遍[4]。然而，较高矿化度的咸水灌溉会对植物产生离子毒害，抑制作物生长，致使作物减产，甚至死亡[5-8]。梭梭作为肉苁蓉的寄主，是典型的真盐生植物，其耐盐能力较强[9]，有学者研究发现，梭梭在50 $g\cdot L^{-1}$矿化度咸水灌溉时还可以继续生长[10]，在28 $g\cdot L^{-1}$咸水灌溉时不仅能够正常生长，还可以接种肉苁蓉[4]。而肉苁蓉作为全寄生植物，所需的营养成分全部来源于寄主，通过吸器将两者紧密相连，肉苁蓉可以被看作寄主梭梭的一个器官，两者之间通过源库关系构成统一整体，形成梭梭-肉苁蓉寄生体系，进行着物质与信息的交流[11-13]。有关梭梭耐盐性的研究很多[9-10,14]，但从两者共同构成的体系出发，针对梭梭-肉苁蓉寄生体系的研究较少，尤其是在高矿化度咸水灌溉条件下，高盐环境对肉苁蓉体内盐分含量及药用品质的影响尚不清楚。本文在目前肉苁蓉主要种植地的新疆南部地区，对不同矿化度咸水滴灌种植肉苁蓉的梭梭-肉苁蓉寄生体系盐分离子和肉苁蓉主要药用成分进行实验分析和研究，并针对上述问题展开探讨，其结果对开发利用咸水资源发展肉苁蓉种植产业具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　采样区概况

采样地在新疆生产建设兵团第二师34团(面积65 hm^2)、第一师阿拉尔(面积4 hm^2)以及和田策勒县(面积15 hm^2)3个肉苁蓉种植基地，均位于塔克拉玛干沙漠边缘，属暖温带极端干旱的大陆气候，降水稀少、蒸发潜力大、日照时间长、风沙活动强烈[15-16]，年均降雨量一般低于50 mm，蒸发量超过3000 mm。34团肉苁蓉种植基地土壤为沙壤土，阿拉尔和策勒为流动风沙土。此外，34团和策勒梭梭林为2016年种植，阿拉尔为2017年种植，均采取行间配置模式，株行距1 m×3 m，滴灌灌溉，所有种植

收稿日期：2021-11-03；　**修订日期：**2022-01-04

基金项目：中国科学院王宽诚率先人才计划产研人才扶持项目(王宽诚教育基金会)

作者简介：刘玲(1995-)，女，硕士研究生，主要从事生态环境修复方面研究. E-mail: liuling19@mails.ucas.ac.cn

通讯作者：李丙文. E-mail: libw@ms.xjb.ac.cn

地均未施肥。

采样点灌溉模式如下，34团Ⅰ区（Ⅰ$_{34}$）：采用45.08 g·L^{-1}的高矿化度地下井水灌溉；34团Ⅱ区（Ⅱ$_{34}$）：交替灌溉模式，3—6月采用井水和渠道淡水混合灌溉（矿化度12.3 g·L^{-1}），7—11月采用45.08 g·L^{-1}井水灌溉；阿拉尔区（Alar）：采用13.92 g·L^{-1}的地下咸水灌溉；策勒区（Cele）：采用1.73 g·L^{-1}的地下淡水灌溉。各采样区灌溉制度一致，灌水定额为42 kg·株$^{-1}$·次$^{-1}$，全年灌水8—9次，其中6—8月灌水周期为20 d左右，4月、5月、9月和11月各灌水1次。灌溉水盐分离子含量见表1。

1.2 样品采集与方法

土壤样品采集时间在2019年10月上旬植物生长季末期，在各样地内随机选取采样点（滴头处）采集植物根际土样，采样深度在接种层40~45 cm处。采用残渣烘干法测定土壤可溶性总盐，K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-和SO_4^{2-}采用离子色谱法测定，HCO_3^-和CO_3^{2-}测定采用电位滴定法。土壤可溶性盐分离子含量见表2。

梭梭样品采集时间为2019年10月上旬，在34团种植地Ⅰ$_{34}$和Ⅱ$_{34}$各选取一株接种肉苁蓉的梭梭，每个植株分4个部分进行样品采集分析，即主根、细根（直径小于2 mm）、主茎和同化枝（植株中部），样品烘干后采用离子色谱法测定Cl^-、K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}和SO_4^{2-}，残渣烘干法测定总盐。

肉苁蓉样品采集时间在2020年4月初，在肉苁蓉出土期对肉苁蓉进行样本采集，均为前1 a接种的一年生肉苁蓉。每个样地内随机选取3株拱土期未露头的肉苁蓉植株，阴干后将整株全部打碎成粉末，混合均匀，盐离子含量测定方法同梭梭。主要药用成分苯乙醇苷类中的松果菊苷、毛蕊花糖苷、肉苁蓉苷A和2′乙酰基毛蕊花糖苷的含量使用Thermo Ultimate 3000液相色谱仪进行测定。

1.3 数据处理

采用SPSS 26进行单因素方差分析，邓肯氏新复极差法进行多重比较，当$P<0.05$时，差异性被认为具有统计学意义，Origin 2018软件作图。

2 结果与分析

2.1 寄生体系盐离子含量的分布

34团种植地Ⅰ$_{34}$和Ⅱ$_{34}$梭梭-肉苁蓉寄生体系不

表1 灌溉水盐分离子组成

Tab. 1 Filing ion compostion

灌溉水		CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	矿化度
34团井水	盐离子含量/(g·L^{-1})		20.621	7.101	1.014	0.133	1.434	13.968	0.32	45.08
	占比/%		45.74	15.75	2.25	0.30	3.18	30.98	0.71	100
34团混合水	盐离子含量/(g·L^{-1})		5.523	1.826	0.292	0.042	0.431	3.817	0.205	12.3
	占比/%		44.90	14.85	2.37	0.34	3.50	31.03	1.67	100
Alar井水	盐离子含量/(g·L^{-1})	0.001	7.452	0.587	0.116	0.015	0.073	5.487	0.188	13.92
	占比/%	0.01	53.54	4.21	0.84	0.11	0.52	39.42	1.35	100
Cele井水	盐离子含量/(g·L^{-1})		0.329	0.423	0.231	0.014	0.101	0.208	0.296	1.733
	占比/%		18.98	24.41	13.33	0.81	5.83	12.00	17.08	100

表2 各样点40~45 cm深度土壤可溶性盐分离子含量

Tab. 2 Soil soluble salt ions contents in 40-45 cm soil layer

采样区		CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	总盐
Ⅰ$_{34}$	盐离子含量/(mg·g^{-1})		1.984	0.486	0.293	0.028	0.124	1.359	0.146	4.42
	占比/%		44.89	11.00	6.63	0.63	2.81	30.75	3.30	100
Ⅱ$_{34}$	盐离子含量/(mg·g^{-1})		0.977	0.368	0.204	0.019	0.066	0.693	0.157	2.484
	占比/%		39.33	14.81	8.21	0.76	2.66	27.90	6.32	100
Alar	盐离子含量/(mg·g^{-1})		0.425	0.307	0.097	0.008	0.018	0.339	0.171	1.365
	占比/%		31.14	22.49	7.11	0.59	1.32	24.84	12.53	100
Cele	盐离子含量/(mg·g^{-1})	0.012	0.12	0.127	0.045	0.037	0.02	0.102	0.121	0.635
	占比/%	1.89	18.90	20.00	7.09	5.83	3.15	16.06	19.06	100

同器官盐离子分布如图1所示。主要有以下3个显著特征：(1) Ⅰ$_{34}$寄主梭梭体内各器官总盐、Na^+、K^+、Cl^-、Mg^{2+}和SO_4^{2-}含量均表现为：同化枝>主根>细根>主茎，而Ca^{2+}则不同，细根含量最高，主茎最低。相比较而言，同化枝总盐分别是主根和细根的2.6倍和3.2倍，主茎仅为同化枝的1/9，主根与细根两者之间差异不大，可见梭梭同化枝中聚集了植物体的大部分盐分。(2) 与Ⅰ$_{34}$相比，Ⅱ$_{34}$梭梭体内各器官总盐、Na^+、K^+、Mg^{2+}和SO_4^{2-}含量分配与Ⅰ$_{34}$基本一致，只有Cl^-和Ca^{2+}含量略有不同。此外，Ⅰ$_{34}$和Ⅱ$_{34}$相比，Ⅰ$_{34}$同化枝、主根、细根和主茎中总盐含量较Ⅱ$_{34}$分别高出0.003 mg·g^{-1}、20.9 mg·g^{-1}、26.8 mg·g^{-1}和3.1 mg·g^{-1}；就单盐离子而言，细根中各盐分离子含量均表现为Ⅰ$_{34}$高于Ⅱ$_{34}$，其他器官中Na^+、Cl^-和Mg^{2+}含量Ⅰ$_{34}$均高于Ⅱ$_{34}$，只有K^+和Ca^{2+}含量相反，Ⅰ$_{34}$较Ⅱ$_{34}$分别低17.0 mg·g^{-1}和1.5 mg·g^{-1}。(3) 对于寄生体肉苁蓉，Ⅰ$_{34}$体内总盐含量和寄主细根相近，Cl^-和K^+含量与寄主同化枝相近，并远高于细根，分别是细根的2.1倍和2.4倍，Na^+含量分配规律与总盐规律相似，Mg^{2+}、SO_4^{2-}和Ca^{2+}含量均低于细根，与主茎盐离子含量相近。与Ⅰ$_{34}$相比，Ⅱ$_{34}$肉苁蓉盐离子含量分配规律与Ⅰ$_{34}$基本一致，肉苁蓉体内总盐含量与寄主主根相近，并高于细根中的盐含量。

由表3可知，2个采样点内K^+/Na^+的值则以梭梭

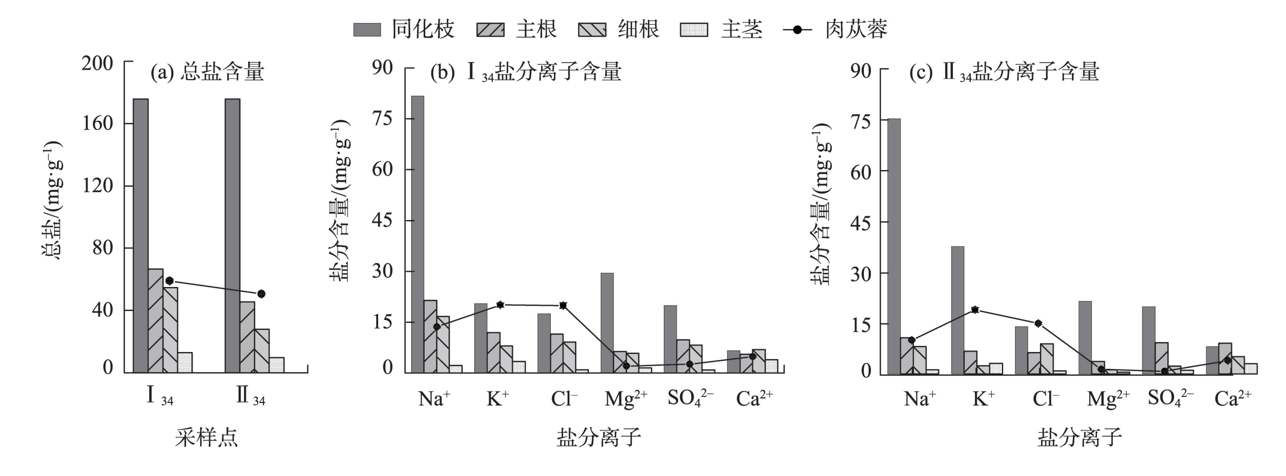


图1 梭梭不同器官和肉苁蓉体内盐分离子含量

Fig. 1 Salt ion content in different organs of *H. ammodendron* and *C. deserticola*

表3 梭梭不同器官和肉苁蓉体内K^+/Na^+比

Tab. 3 K^+/Na^+ ratio in different organs of *H. ammodendron* and *C. deserticola*

K^+/Na^+	肉苁蓉	主茎	主根	细根	同化枝
Ⅰ$_{34}$	1.502b	1.525	0.558	0.477	0.250
Ⅱ$_{34}$	1.885a	2.551	0.626	0.294	0.499

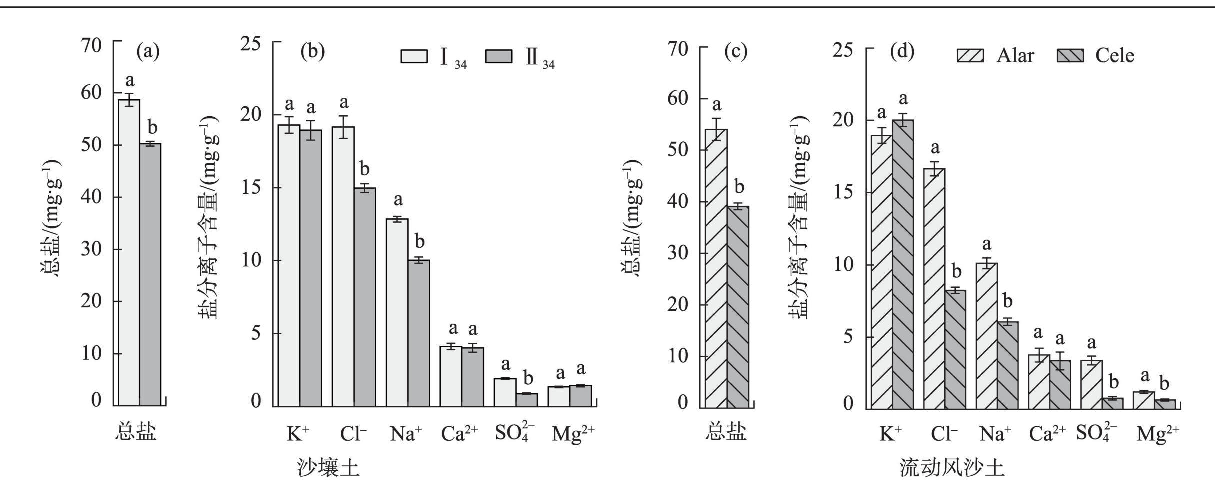
注：同列不同字母表示差异达到显著水平($P<0.05$)。

主茎和肉苁蓉体内相对较高，且都超过了1.5，根系居中，同化枝为最低。Ⅰ$_{34}$梭梭细根和主根分别是肉苁蓉的31.8%和37.2%、Ⅱ$_{34}$分别为肉苁蓉的15.6%和33.2%，Ⅰ$_{34}$和Ⅱ$_{34}$同化枝中K^+/Na^+值仅为肉苁蓉的16.7%和26.5%。

2.2 各采样地肉苁蓉盐离子含量

从图2可知，2种土壤条件下，肉苁蓉体内总盐含量均随灌水矿化度、土壤总盐的增加而增加，相同土壤类型下的肉苁蓉盐离子含量存在显著性差异，Ⅰ$_{34}$总盐含量比Ⅱ$_{34}$高17.92%，Alar比Cele高43.45%。就单盐离子而言，各种植地内肉苁蓉盐离子含量均为：K^+>Cl^->Na^+>Ca^{2+}>SO_4^{2-}，K^+、Cl^-和Na^+这3类盐离子含量占比高达84%~88%。其中Cl^-、Na^+和SO_4^{2-}含量显示出，随灌溉水矿化度和土壤盐分水平的升高而升高的趋势，Ⅰ$_{34}$较Ⅱ$_{34}$分别高出27.8%、28.0%和118.2%，Alar分别是Cele的2.02倍、1.67倍和4.39倍，而K^+含量在各采样点之间并没有表现出显著性差异。

由图3可知，与盐分离子含量的变化趋势相反，K^+/Na^+值随土壤盐分含量的增加而降低，且相同土壤类型下接种的肉苁蓉K^+/Na^+值存在显著差异。沙壤土中土壤盐分较高的Ⅰ$_{34}$采样地K^+/Na^+值反而较低，而以盐分含量较低的Ⅱ$_{34}$采样点的K^+/Na^+值较



注:不同字母表示不同咸水滴灌条件下差异达到显著水平(P<0.05)。下同。

图2 肉苁蓉体内总盐与盐分离子含量

Fig. 2 The content of total salt and salt ions in *C. deserticola*

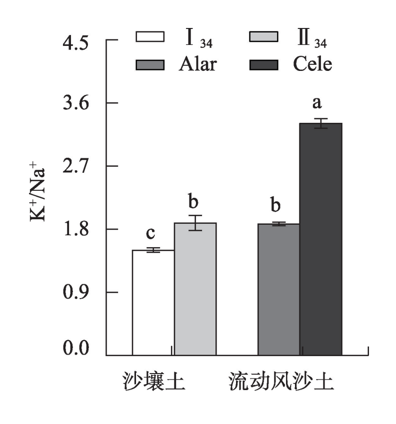


图3 不同采样点的肉苁蓉K^+/Na^+比

Fig. 3 K^+/Na^+ ratio in different sampling points

高,后者是前者的1.26倍;流动风沙土中肉苁蓉K^+/Na^+的值同样表现为Cele高于Alar,为Alar的1.76倍。

2.3 各样地肉苁蓉生化有效物质含量

由图4可知,肉苁蓉体内苯乙醇苷类总含量(总苷)随灌溉水矿化度、土壤总盐含量的增加而增加。沙壤土Ⅰ$_{34}$接种的肉苁蓉总苷含量是Ⅱ$_{34}$的2.0倍,总苷的4种组成成分中,毛蕊花糖苷、2′乙酰基毛蕊花糖苷和松果菊苷含量与总苷具有相似的变化规律,均为随灌溉水矿化度和土壤总盐含量的升高而升高,但肉苁蓉苷A无显著差异。流动风沙土中接种的肉苁蓉总苷以及4种苷类化合物均与上述结果一致,Alar总苷含量是Cele的22.47倍,并且其他4种苷类化合物远高于淡水滴灌的Cele,毛蕊花糖苷、2′乙酰基毛蕊花糖苷、松果菊苷和肉苁蓉苷A的含量分别是Cele的23.72倍、28.64倍、17.42倍和4.85倍。

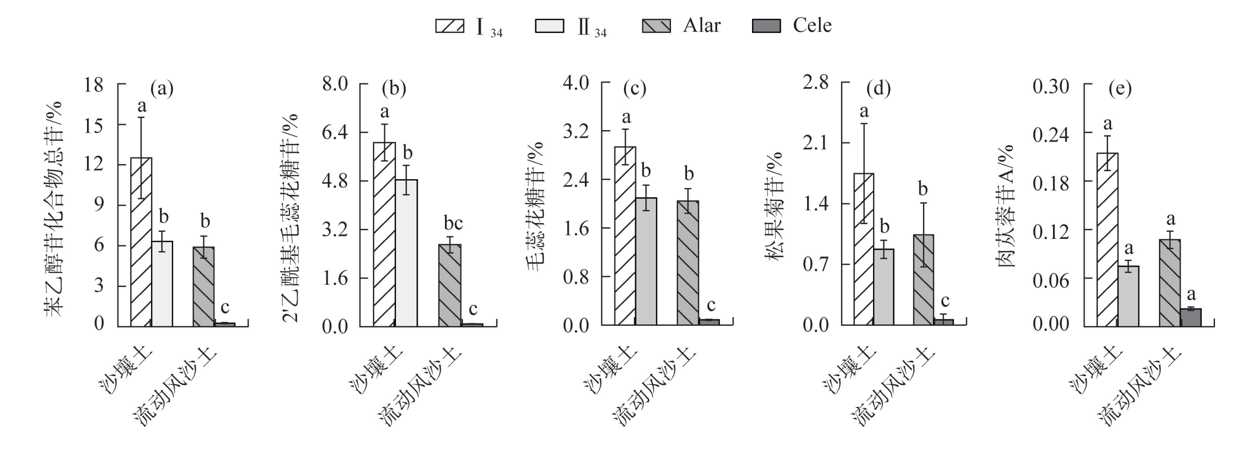


图4 肉苁蓉苯乙醇苷类含量

Fig. 4 Contents of phenylethanoid glycosides in *C. deserticola*

3 讨 论

3.1 咸水滴灌对寄生体系盐离子分布的影响

咸水滴灌会引起土壤含盐量增加，随着灌溉水矿化度的升高，土壤含盐量也呈现上升趋势[17]。盐分胁迫会对植物生长带来不利影响，反之，植物在长期对环境的适应过程中，也产生了对盐分胁迫的忍耐机制。真盐生植物进化出了独特的保护机制，如稀盐盐生植物，能将盐分区隔化到细胞的液泡中或储存器官中，以避免盐离子对生长器官的危害[18-19]。笔者的研究显示，在寄主梭梭各器官中，盐离子含量在同化枝、主根、细根和主茎中依次降低，这与崔旭盛等[20]对梭梭不同器官中K和Na含量的分布结果是一致的。同化枝中盐分含量最高，这是由于梭梭肉质化的同化枝富含发达的液泡，因而梭梭能有效的将Na^+区隔化在液泡中以保持细胞的渗透势[21-22]；根系是梭梭吸收营养元素和矿物质成分的主要器官，其中盐分含量较低，总盐含量仅为同化枝的1/4，表明梭梭对根系生理功能具有一定的保护作用；茎是输导组织，而非储存器官，这就是茎中盐分积累少、含量最低的主要原因[23]。由此可知，这可能是梭梭在高盐环境中生长的优势所在，与前人研究结果相似[24]。本研究结果进一步显示，在梭梭-肉苁蓉寄生体系中，肉苁蓉体内盐分离子含量（包括总盐、Na^+和Cl^-）与梭梭根系的含量相当，并远低于同化枝，这说明进入肉苁蓉体内的盐分含量并不高，其机制还需要进一步研究。

通常使用K^+/Na^+值作为衡量植物耐盐能力的标准之一，适量的Na^+可以有效促进旱生植物梭梭的生长和抗旱性，当Na^+的施用量超过0.6 $mg\cdot g^{-1}$会对梭梭起到抑制作用[25]。而本研究中灌溉水中Na^+含量分别高达14.0 $mg\cdot g^{-1}$和3.8 $mg\cdot g^{-1}$，均高于该阈值，$Ⅰ_{34}$梭梭不同器官总盐和Na^+含量均高于$Ⅱ_{34}$，而同化枝中K^+含量则相反，这可能是由于梭梭通过积累大量的Na^+并将其区隔化至液泡中来适应环境胁迫，而不是K^+[26]，有研究已表明，Na^+是梭梭适应干旱环境的重要调节物质[27]。在寄生体系内，梭梭细根中K^+含量以及K^+/Na^+值都维持在较高水平，而肉苁蓉体内K^+含量和K^+/Na^+值均高于细根的对应值，这说明肉苁蓉在体内富集大量K^+，而限制Na^+的进入，这与崔旭盛等[28]在肉苁蓉生殖生长阶段的研究结果一致，表明肉苁蓉能通过对离子的选择性吸收而形成自我保护，以抵抗高盐胁迫。

3.2 咸水滴灌对肉苁蓉体内盐分含量的影响

梭梭根系是肉苁蓉与寄主的连结点，并通过库源关系构成统一整体，梭梭作为“源”不断向肉苁蓉“库”中转移生长所需的物质成分，因而寄主的生理状态对肉苁蓉的生长发育有直接影响[29]，本研究结果显示，灌水矿化度较高的采样地梭梭根系中的盐分含量较高，肉苁蓉体内总盐、Na^+和Cl^-含量也随之增加，表明肉苁蓉随寄主生长环境的变化而变化。

与总盐、Na^+和Cl^-含量的变化趋势不同，肉苁蓉体内K^+含量在采样点之间并没有显著差异，即并未随土壤盐离子含量的升高而变化。有研究表明，不同产地的管花肉苁蓉、不同花色肉苁蓉种质以及不同生育阶段的肉苁蓉对K^+都具有较强的吸收能力[28,30-31]，肉苁蓉对K^+具有显著的富集作用，本研究支持这个结论。

3.3 咸水滴灌对肉苁蓉主要药用有效成分的影响

肉苁蓉作为名贵中药，含苯乙醇苷类、环烯醚萜类、木质素类和多糖等多种有效成分[32]，而苯乙醇苷类含量是肉苁蓉质量评价的主要标准之一[33-34]。这些苷类、萜类物质是植物的次生代谢物质，是植物长期适应环境胁迫的产物[35]。干旱胁迫对管花肉苁蓉悬浮细胞中松果菊苷和毛蕊花糖苷的积累有明显促进作用[36]，本研究结果与之相似，随着灌溉水矿化度和土壤盐分含量的升高，不同土壤立地类型接种的肉苁蓉体内苯乙醇苷类物质显著增加。显然，盐分胁迫会促进肉苁蓉次生代谢物质的产生，有利于肉苁蓉有效药用成分的积累。

在长期的高盐胁迫下，寄主梭梭的生长会受到抑制，因此，在开发利用咸水资源种植肉苁蓉的生产实践过程中，如何既确保寄主正常生长和生物量的有效积累，又能尽可能提高接种肉苁蓉的品质，需要控制好两者之间的平衡，确定适宜的咸水灌溉阈值，制定合理的灌溉制度是关键所在。

4 结 论

选择灌水矿化度差异较大的4个样地，通过对土壤、寄生体系各部分盐离子含量及肉苁蓉主要药用成分含量的分析，得出以下结论：

（1）不同高矿化度咸水滴灌下，在梭梭-肉苁蓉

寄生体系中，肉苁蓉体内的盐离子含量与寄主梭梭根系相似，并都远低于同化枝；且肉苁蓉通过对离子的选择性吸收形成自我保护，以抵抗高盐胁迫。

（2）在高矿化度咸水滴灌条件下，肉苁蓉体内总盐、Na^+和Cl^-含量均随灌水矿化度的增高而增加，其中肉苁蓉具有较强的吸收富集K^+的能力，但K^+含量并未随灌水盐浓度的变化而表现出显著性差异。

（3）肉苁蓉体内苯乙醇苷类为代表的次生代谢产物的含量随灌溉水矿化度的增加而升高，但考虑到对寄主梭梭的影响，选取适宜的咸水灌溉阈值和制定合理的灌水制度是实现肉苁蓉产业长期发展的有效措施。

参考文献(References)：

[1] 宋鹏, 屠鹏飞. 中药肉苁蓉质量控制及评价的研究进展[J]. 北方药学, 2011, 8(2): 61−62, 39. [Song Peng, Tu Pengfei. Research progress in quality control and evaluation of Chinese medicine herba *Cistanche*[J]. Journal of North Pharmacy, 2011, 8(2): 61−62, 39.]

[2] 陈海燕, 郝彩琴, 郭鸿雁, 等. 肉苁蓉药用资源开发与应用研究进展[J]. 价值工程, 2012, 31(3): 303−304. [Chen Haiyan, Hao Caiqing, Guo Hongyan, et al. Research progress of the development and application of *Cistanche* medicinal resources[J]. Value Engineering, 2012, 31(3): 303−304.]

[3] 李青, 陈红梅, 王雅鹏. 基于面板VAR模型的新疆农业用水与农业经济增长的互动效应研究[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1679−1685. [Li Qing, Chen Hongmei, Wang Yapeng. The interactive effect of agricultural water and agricultural economic growth in Xinjiang[J]. Resources Science, 2014, 36(8): 1679−1685.]

[4] 范敬龙, 李丙文, 徐新文, 等. 基于植物防沙工程的沙产业技术进展——以肉苁蓉种植产业为例[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 717−723. [Fan Jinglong, Li Bingwen, Xu Xinwen, et al. Technology progress of sand industry based on desertification control engineering by revegetation: Case study on *Cistanche* plantation[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 717−723.]

[5] 刘雪艳, 丁邦新, 白云岗, 等. 微咸水膜下滴灌对棉花生长及产量的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(6): 1627−1634. [Liu Xueyan, Ding Bangxin, Bai Yungang, et al. Effect of drip irrigation under brackish water film on cotton growth and yield[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(6): 1627−1634.]

[6] 白如霄, 陈勇, 王娟, 等. 土壤盐分对膜下滴灌水稻生长及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(3): 473−480. [Bai Ruxiao, Chen Yong, Wang Juan, et al. Effects of soil salinity on rice growth and yield under drip irrigation and film mulch[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(3): 473−480.]

[7] 李国安, 蒋静, 马娟娟, 等. 咸水灌溉对土壤水盐分布和小麦产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(6): 544−552. [Li Guo'an, Jiang Jing, Ma Juanjuan, et al. Effect of saline water irrigation on water-salt distribution and yield of wheat[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(6): 544−552.]

[8] 尹海龙, 田长彦. 不同盐度环境下盐地碱蓬幼苗光合生理生态特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 850−855. [Yin Hailong, Tian Changyan. Photosynthetic characteristics of *Suaede salsa* seedlings under different salt conditions[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(5): 850−855.]

[9] 丁效东, 张士荣, 刘阳超, 等. 真盐生植物梭梭和囊果碱蓬幼苗耐干旱能力的研究[J]. 草业学报, 2015, 24(11): 240−246. [Ding Xiaodong, Zhang Shirong, Liu Yangchao, et al. Study of resistance to dehydration in *Haloxylon ammodendron* and *Suaeda physophora* seedlings[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(11): 240−246.]

[10] 张涛涛, 范敬龙, 王世明, 等. 高矿化度水灌溉条件下梭梭(*Haloxylon ammodendron*)的光合生理特征[J]. 中国沙漠, 2020, 40(5): 112−119. [Zhang Taotao, Fan Jinglong, Wang Shijie, et al. Photosynthetic characteristics of *Haloxylon ammodendron* under high salinity water irrigation[J]. Journal of Desert Research, 2020, 40(5): 112−119.]

[11] 谭德远, 郭泉水, 刘玉军, 等. 梭梭被肉苁蓉寄生后的生理代谢反应[J]. 林业科学研究, 2007, 20(4): 495−499. [Tan Deyuan, Guo Quanshui, Liu Yujun, et al. The physiological metabolism reaction of *Haloxylon* paratized by *Cistanche deserticola*[J]. Forest Research, 2007, 20(4): 495−499.]

[12] 黄勇, 刘晓萍, 骆翔, 等. 肉苁蓉寄生对梭梭生物量和碳水化合物含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(5): 76−79. [Huang Yong, Liu Xiaoping, Luo Xiang, et al. Effects of *Cistanche deserticola* on biomass and carbohydrates content of *Haloxylon ammodendron*[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(5): 76−79.]

[13] 于霞霞, 郭晔红, 杜弢, 等. 肉苁蓉寄生对梭梭光合特性的影响[J]. 中成药, 2021, 43(9): 2570−2576. [Yu Xiaxia, Guo Yehong, Du Tao, et al. Effects of *Cistanche deserticola* on photosynthesis characteristic of *Haloxylon ammodendron*[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2021, 43(9): 2570−2576.]

[14] 刘赛华, 杨广, 张秋英, 等. 典型荒漠植物梭梭在咸水滴灌条件下土壤水盐运移特性[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1): 52−60. [Li Saihua, Yang Guang, Zhang Qiuying, et al. Experimental study on water and solute movement in soil grown with sesert plant *Haloxylon ammodendron* under drip irrigation using saline water [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 52−60.]

[15] 李丙文, 王桂芬, 张忠良, 等. 种植于人工梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林的肉苁蓉(*Cistanche deserticola*)个体质量特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1049−1054. [Li Bingwen, Wang Guifen, Zhang Zhongliang, et al. Characteristics of individual mass of Cistance deserticola inoculated in artificial *Haloxylon ammodendron* forest

in the hinterland of Taklimakan Desert[J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(4): 1049-1054.]

[16] 陈珩, 张志谦. 塔克拉玛干沙漠公路固沙植物立地条件分区评价[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 131-136. [Chen Heng, Zhang Zhiqian. Evaluation on dune stabilization plant stand condition along Takilamakan Desert highway[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 131-136.]

[17] Feng G, Zhang Z, Wan C, et al. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system[J]. Agricultural Water Management, 2017, 193: 205-213.

[18] 孙建昌, 王兴盛, 杨生龙. 植物耐盐性研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 226-230. [Sun Jianchang, Wang Xingsheng, Yang Shenglong. Progress of research on salt-resistance in plants[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(1): 226-230.]

[19] 任丽丽, 任春明, 赵自国. 植物耐盐性研究进展[J]. 山西农业科学, 2010, 38(5): 87-90. [Ren Lili, Ren Chunming, Zhao Ziguo. Research advances in plant salt tolerance[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(5): 87-90.]

[20] 崔旭盛, 黄勇, 郭玉海. 梭梭和肉苁蓉间的物质分配研究[C]//中国药学会. 第六届肉苁蓉暨沙生药用植物学术研讨会, 2011. [Cui Xunsheng, Huang Yong, Guo Yuhai. Research on the matter distribution between *H. ammodendron* and *C. desertcola*[C]//Chinese Pharmaceutical Association. The Sixth Symposium on Herba *Cistanches* and Sesert Medicinal Plant, 2011.]

[21] 王新英, 史军辉, 刘茂秀. NaCl胁迫对胡杨和新疆杨幼苗体内K^+、Na^+和Cl^-分布的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 126-132. [Wang Xinying, Shi Junhui, Liu Maoxiu. Effect of NaCl stress on K^+, Na^+ and Cl^- allocation in different organs of *Populus euphratica* and *Populus bolleana* Lauche seedlings[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(1): 126-132.]

[22] 董占元, 姚云峰, 赵金仁, 等. 梭梭(*Haloxylon ammodend rom* (C. A. Mey)Bunge)光合枝细胞组织学观察及其抗逆性特征[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(增刊): 78-83. [Dong Zhanyuan, Yao Yunfeng, Zhao Jinren, et al. Anatomical observations on the plotosynthatic branch *Haloxylon ammodendrom* (C. A. Mey) Bunge and it is the character of drought and salt resistance[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2000, 14(Suppl.): 78-83.]

[23] 李彩霞, 兰海燕. 荒漠植物柽柳抗逆机制的研究进展[J]. 生物技术通报, 2021, 37(5): 128-140. [Li Caixia, Lan Haiyan. Research progress in the stress tolerance mechanisms of desert plant *Tamarix* spp.[J]. Biotechnology Bulletin, 2021, 37(5): 128-140.]

[24] 原俊凤. 真盐生植物硝态氮吸收特性及调控研究[D]. 乌鲁木齐: 中国科学院新疆生态与地理研究所, 2009. [Yuan Junfeng. Uptake and Regulation of Nitrate Nutrition of Euhalophyte[D]. Urumqi: Xingjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, 2009.]

[25] 康建军, 王锁民, 杨自辉. 钠、硅及钠硅互作提高梭梭抗旱性的研究[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 793-800. [Kang Jianjun, Wang Suoming, Yang Zihui. Effects of separate and mutual application of Na and Si on drought resistance of *Haloxglon ammodendron*[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 793-800.]

[26] 康建军, 赵文智, 岳利军, 等. K_2SiO_3促进梭梭生长并增强其抗旱性[J]. 草业科学, 2015, 32(10): 1631-1640. [Kang Jianjun, Zhao Wenzhi, Yue Lijun, et al. K_2SiO_3 promotes the growth and improves drought resistance of *Halixylon ammodendron*[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1631-1640.]

[27] Lyu X P, Hui J, Zhang L, et al. Dynamic responses of *Haloxylon ammodendron* to various degrees of simulated drought stress[J]. Plant Physiology & Biochemistry 2019, 139: 121-131.

[28] 崔旭盛, 郑雷, 杜友, 等. 肉苁蓉不同生育阶段矿质元素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(11): 3115-3118. [Cui Xusheng, Zheng Lei, Du You, et al. Mineral elements content of *C. deserticola* at different growth stages[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(11): 3115-3118.]

[29] 王霞, 陈君, 徐荣, 等. 宁夏地区肉苁蓉人工栽培居群生殖分配规律的初步研究[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(4): 409-413. [Wang Xia, Chen Jun, Xu Rong, et al. Preliminary study of reproductive allocation in *Cistanche deserticola*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011, 36(4): 409-413.]

[30] 杜友, 盛晋华, 崔旭盛, 等. 不同产地管花肉苁蓉矿质元素分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(10): 2824-2827. [Du You, Sheng Jinhua, Cui Xusheng, et al. Determination of the content of mineral elements in *Cistanche tubulosa* from different areas[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(10): 2824-2827.]

[31] 郑雷, 郭玉海. 不同种质肉苁蓉矿质元素分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(12): 3921-3924. [Zheng Lei, Guo Yuhai. Analysis of mineral elements in different germplasm of *Cistanche deserticola* [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(12): 3921-3924.]

[32] 刘晓明, 姜勇, 孙永强, 等. 肉苁蓉化学成分研究[J]. 中国药学杂志, 2011, 46(14): 1053-1058. [Liu Xiaoming, Jiang Yong, Sun Yongqiang, et al. Study on chemical constituents of *Cistanche deserticola*[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2011, 46(14): 1053-1058.]

[33] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 26. [Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2010: 26.]

[34] 刘友刚, 王威, 徐荣, 等. 肉苁蓉及其醇提物的傅里叶变换红外光谱研究[J]. 中国医院药学杂志, 2010, 30(15): 1257-1260. [Liu Yougang, Wang Wei, Xu Rong, et al. Study on *Cistanche deserticola* and their ethanol extracts by fourier transform infrared spectroscopy[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2010, 30 (15): 1257-1260.]

[35] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关系[J]. 中草药, 2005, 36(9): 139-142. [Su Wenhua, Zhang Guangfei, Li Xiuhua, et al. Relationship between accumulation of secondary metabolism in medicinal plant and environmen-

tal condition[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2005, 36 (9): 139−142.]

[36] 闫雅如, 杨洪芸, 齐博文, 等. 干旱胁迫对管花肉苁蓉组织培养体系中苯乙醇苷类成分含量的影响[J]. 中草药, 2019, 50(10): 2452−2460. [Yan Yaru, Yang Hongyun, Qi Bowen, et al. Effect of drought stress on accumulation of two respective phenylethanoid glycosides in tissue culture of *Cistanche tubulosa*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(10): 2452−2460.]

Effect of saline water drip irrigation on salt ions distribution for the *Haloxylon ammoedndron-Cistanche deserticola* association (H-C association) and quality of *Cistanche deserticola* Ma

LIU Ling[1,2], LUO Jianhong[3], LI Bingwen [1], XU Xinwen[1], FAN Jinglong[1], MA Zhiguo[4]

(1. Xingjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China; 3. Agricultural Technology Development Center, the 34th Branch of the Second Division of the Xinjiang Production and Construction Corps, Yuli 841506, Xinjiang, China; 4. College of Pharmacy Jinan University, Guangzhou 510632, Guangdong, China)

Abstract: The impact of saltwater drip irrigation on salt ion distribution and the quality of *Cistanche cistanche* Ma and *Haloxylon ammodendron*-*Cistanche deserticola* Ma (H-C) association during artificial cultivation in the planting base of *C. deserticola* on the Taklimakan Desert edge was examined. We selected four sample plots with obvious differences in irrigation mineralization to collect samples of *H. ammodendron* and *C. deserticola*. We also collected and analyzed the salt ion content in soil, H-C association, and main medicinal components of *C. deserticola* from different locations. Results showed the following: (1) The salt content of roots, main stems, and assimilated branches of *C. deserticola* inoculated by drip irrigation with high salinity brackish water was in the order of assimilating branch>coarse roots>fine roots>stems; the salt content in *C. deserticolais* was similar to that of the root system. (2) The contents of total salt, Na^+, and Cl^- in *C. deserticola* increased with an increase of irrigation salinity and soil salinity; the proportion of K^+ in *C. deserticola* accounts for one-third of the total salt and can accumulate K^+, but there is no significant difference in K^+ content with irrigation salt concentration. (3) The synthesis of phenylethanol glycosides, which are the main medicinal ingredient in *C. deserticola*, increased with an increase of irrigation salinity, and salt stress promotes the accumulation of a main pharmacological component in *C. deserticola*. In consequence, high salinity saline water drip irrigation can improve the quality of *C. deserticola*. And it is necessary to pay attention to the effect of long-term high salinity stress on the host *H. ammodendron*, so it is important to develop a reasonable irrigation system.

Keywords: drip irrigation with saline water; *Cistanche deserticola* Ma; salt ions; officinal quality